УДК 656.1:627
DOI 10.23947/2541-9129-2017-4-2-8

РАСЧЕТ СПЕЦИАЛЬНОГО ГРУЗОЗАХВАТНОГО ПРОВОЛОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ С УЧЕТОМ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

М. Н. Хальфин, А. А. Короткий, Б. Ф. Иванов, Э. А. Панфилова
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация
xalfinmn@mail.ru
korot@novoch.ru
ivanov@ikc-mysl.ru
korotkaya_elvira@mail.ru

Рассмотрено применение грузозахватных проволочных приспособлений (ГПП) в виде пучков параллельных витков проволоки, снаружи скрепленных закрученными концами. Приведенные результаты расчета несущей способности указанных ГПП с учетом упругопластического нагружения и требований безопасности при их использовании, при котором оценка прочности проволок ГПП проводилась по растягивающим и изгибающим напряжениям, показали, что долговечность проволочного приспособления может быть увеличена. По результатам проведенных исследований предложены практические рекомендации по безопасной эксплуатации ГПП.

Ключевые слова: грузозахватное проволочное приспособление, расчет, несущая способность, перегрузка, длинномерный груз.

Введение. При перегрузочных работах и транспортировании грузоподъемными кранами литых стальных заготовок, пакетов труб, профильного проката и других длинномерных металлических грузов в цехах металлургической промышленности для соединения крюков траверс с грузом применяются специальные грузозахватные проволочные приспособления — пучки

UDC 656.1:627
DOI 10.23947/2541-9129-2017-4-2-8

CALCULATION OF SPECIAL HOISTING WIRE DEVICES WITH ELASTIC-PLASTIC LOADING

M. N. Khalfin, A. A. Korotkiy, B. F. Ivanov, E. A. Panfilova
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation
xalfinmn@mail.ru
korot@novoch.ru
ivanov@ikc-mysl.ru
korotkaya_elvira@mail.ru

The article describes the use of hoisting wire devices (HWD) — parallel bunches of wire turns bonded by twisted ends on the outside. The calculation results of the bearing capacity of these HWD, taking into account elastic-plastic loading and safety requirements for their use, in which HWD wires strength assessment was conducted on tensile and bend-conductive stress, showed that the lifetime of the wire device can be increased. The results of the study offer practical guidelines for HWD safe operation.

Keywords: hoisting wire devices, calculation, bearing capacity, overloading, long items of cargo.

Introduction. Special hoisting wire devices— parallel bunches of wire turns bonded by twisted ends on the outside — "lifting straps" (Fig. 1) are used in the shops of metallurgical industry to connect hooks with traverse load during reloading and transportation by load-lifting cranes of cast steel workpieces, banks of tubes, profiled bars and other long metal goods.

параллельных витков проволоки, снаружи скрепленных закрученными концами — «грузозахватные хомуты» (рис. 1). Достоинством этих приспособлений является возможность их применения для транспортирования горячих грузов, отсутствие необходимости применения подкладок, прокладок при укладке груза в кузов вагона (или автомобиля), а также простота конструкции приспособления [1].

Пунктом 221 [1] регламентируется использование «специальных стропов (транспортирующих, пакетирующих), применяемых как «одноразовые» не более, чем для 5 перегрузок пакетов длинномерных грузов (металлопроката, труб, пиломатериалов) в одном рабочем цикле от изготовителя до конечного потребителя. В то же время пунктом 129 вышеуказанного документа запрещается строповка пакетов труб или металлопроката за элементы упаковки (скрутки, стяжки).

В рассматриваемом случае строповка длинномерных грузов производится не за проволочные или ленточные перевязки пакетов, а с помощью траверсы и грузозахватного проволочного приспособления (далее ГПП) в виде нескольких концентрических витков проволоки, сформированных на вязальных машинах и скрепленных снаружи. Число витков проволоки и диаметр ГПП принимаются в зависимости от заданной грузоподъемности и габаритов пакета.

Рассмотрим расчет несущей способности указанных ГПП с учетом упругопластического нагружения и требования безопасности при их использовании. Оценка прочности проволок ГПП проводится по растягивающим и изгибающим напряжениям.

The advantage of these devices is the possibility of their application for transportation of hot cargoes, the absence of necessity to use lining, linings when loading into a carriage body (or a car body), as well as the simplicity of their design [1].

Paragraph 221 [1] regulates the use of "special slings (transport, stack), used as a "disposable" for not more than 5 reloads of unitized loads of long cargoes (rolled metal products, pipes, lumber) in one operating cycle from the manufacturer to the end user. At the same time, paragraph 129 of the above-mentioned document prohibits slinging of banks of tubes or rolled metal products by packing elements (twists, ties).

In this case, slinging of long goods is done not by wire or band elements of the packing, but with a traverse and a hoisting wire devices (HWD) in the form of several concentric turns of wire formed on knitting machines and sealed from the outside. The number of wire turns and the HWD diameter depend on the specified capacity and the size of a package.

Let us consider the calculation of the bearing capacity of these HWD taking into account elastic-plastic loading and safety requirements for their use. The assessment of wires strength of the HWD is performed on tensile and bending stresses.

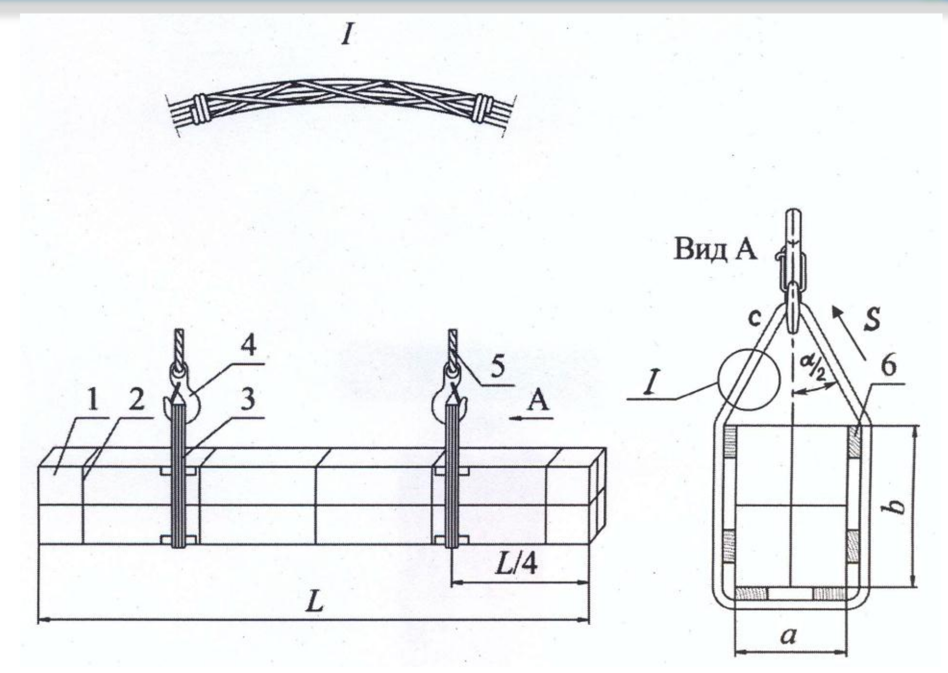


Рис. 1. Общий вид специального грузозахватного проволочного приспособления:
1— длинномерный груз в виде четырех заготовок; 2 — металлические скрутки пакета заготовок; 3 — ГПП; 4 — чалочный крюк траверсы; 5 — строп траверсы; 6 — деревянная подкладка

Fig. 1. The slinging scheme of metal workpieces with the hoisting wire device: 1— long goods in the form of four workpieces; 2 — metal twistings of a bundle of units; 3 — HWD; 4 — sling hook; 5 —traverse sling; 6 — wooden lining

В формулах и пояснениях к рисунку приняты следующие обозначения: максимальный вес пакета длинномерного груза — G; длина груза — L; максимальные габариты груза (ширина — a, высота — b); диаметр параллельных концентрических витков проволок сформированного ГПП — D; ГПП изготовлено из отожженной проволоки марки Ст.3кп ГОСТ 380; диаметр проволоки — δ; временное сопротивление материала проволоки — $\sigma_в$; число ГПП для строповки пакета — m; число нагруженных ветвей одного ГПП — n; количество витков проволок в ГПП — t; для предохранения ГПП от перерезания предусмотрены деревянные подкладки.

Усилие S в одной ветви ГПП:

$$S = \frac{G}{m \cdot n \cdot \cos\alpha/_2}, \qquad (1)$$

где α — угол между нагруженными ветвями ГПП, $\alpha \leq 90°$.

Длина витков проволок ГПП:

$$l = \pi D,$$

где D— исходный диаметр ГПП.

Fig. 1 presents a scheme of slinging of a bundle of casting blocks using the HWD.

In formulas and in the figure legend the following notations are used: the maximum weight of a long cargo — G; the length of the cargo — L; the maximum load dimensions (width — a, height — b); the diameter of the parallel concentric turns of wires of the HWD — D; the HWD is made of Ст.3кп GOST 380 black wire; the wire diameter — δ; temporary resistance of the wire material — $\sigma_в$; the number of HWD for a unit slinging — m; the number of loaded legs of the same HWD — n; the number of wire turns in the HWD — t; wooden lining are provided to protect the HWD from cutting.

The stress S on the leg of the HWD:

$$S = \frac{G}{m \cdot n \cdot \cos\alpha/_2}, \qquad (1)$$

where α is the angle between the HWD loaded legs, $\alpha \leq 90°$.

The length of the HWD wire turns:

$$l = \pi D,$$

where D is the HWD original diameter.

Длина половины верхней части ветви ГПП:

$$c = \frac{l-(a+2b)}{2},$$

откуда

$$\alpha = 2\arcsin\left(\frac{2a}{l-(a+2b)}\right). \qquad (2)$$

Подставив в (1) значение α с учетом, что n = 2; m = 2, получим:

$$S = \frac{G}{4\cos\arcsin\frac{2a}{l-(a+2b)}}. \qquad (3)$$

Тогда разрывное усилие проволок ГПП

$$F_{пр} = S \cdot k_з\,, \qquad (4)$$

где $k_з$— коэффициент запаса ГПП (с учетом нагрева проволоки и возможности подъема с динамикой $k_з$ принят равным 6) [2].

С учетом площади поперечного сечения пучка проволок ГПП, равного $\frac{\pi\delta^2}{4}\cdot t$

$$F_{пр} = \frac{\pi\delta^2}{4}\cdot\sigma_в\cdot t\,. \qquad (5)$$

Приравняв (4) и (5), определим необходимое число витков проволок в ГПП:

$$t = \frac{4\cdot S\cdot k_з}{\pi\cdot\delta^2\cdot\sigma_в}. \qquad (6)$$

Проволока одного витка затрачивается на скрепление пучка проволок ГПП (рис. 1). Тогда расчетное число проволок в одном ГПП $t_р$ = t + 1.

Подставив в выражения (3) и (5) численные значения исходных данных: G = 100 кН; L = 12 м; a = 0,3 м; b = 0,4 м; D = 0,8 м; d = 0,08 м; $\sigma_в$ = 380 МПа; m = 2 и, разделив первое на второе, получим значение растягивающих напряжений $\sigma_р$, не превышающее 50 МПа [3].

Расчет изгибающих напряжений, возникающих в проволоках рассматриваемого грузозахватного устройства, основывается на утверждении, что первый подъем пакета заготовок способствует первоначальному изгибу каждой проволоки на крюке траверсы, определяя, соответственно, возникновение в материале проволок упругопластических деформаций [4].

Алгоритмом расчета, проведенного авторами, предусматривается определение величин: изгибающего момента в поперечном сечении каждой проволоки с учетом начальной и остаточной кривизны проволоки стропа,

The length of the top half of the HWD leg:

$$c = \frac{l-(a+2b)}{2},$$

from which

$$\alpha = 2\arcsin\left(\frac{2a}{l-(a+2b)}\right). \qquad (2)$$

Having put the value of α in (1) given that n = 2; m = 2, we get:

$$S = \frac{G}{4\cos\arcsin\frac{2a}{l-(a+2b)}}. \qquad (3)$$

Then the breaking strength of the HWD wires is

$$F_{пр} = S \cdot k_з\,, \qquad (4)$$

where $k_з$ — the HWD safety factor (including wire heating and the possibility of lifting with the dynamics $k_з$ equal to 6) [2].

Taking into account the area of the HWD wires bunch cross section equal to $\frac{\pi\delta^2}{4}\cdot t$

$$F_{пр} = \frac{\pi\delta^2}{4}\cdot\sigma_в\cdot t\,. \qquad (5)$$

Equating (4) and (5), let us determine the required number of wire turns in the HWD:

$$t = \frac{4\cdot S\cdot k_з}{\pi\cdot\delta^2\cdot\sigma_в}. \qquad (6)$$

The wire of one turn is required for binding the HWD wires bunch (Fig. 1). Then the estimated number of wires in one HWD $t_р$ = t + 1.

Substituting in expressions (3) and (5) the numerical values of the initial data: G = 100 kN, L = 12 m; a = 0.3 m b = 0.4 m; D = 0.8 m; d = 0.08 m; $\sigma_в$ = 380 MPa; m = 2, and, dividing the first by the second, we obtain the value of tensile stresses $\sigma_р$ which does not exceed 50 MPa [3].

The calculation of bending stresses in the wires of the considered hoisting device is based on the assertion that the first lifting of a bundle of workpieces facilitates the initial bending of each wire on the hook of the bar, defining, respectively, the appearance of elastic-plastic deformations in wire material [4].

The calculation algorithm performed by the authors, establishes the value of the bending moment in the cross section of each wire in relation to the initial and the residual curvature

полярного момента инерции поперечного сечения проволоки и изгибающего момента, соответствующего появлению в проволоке пластических деформаций; остаточных напряжений в проволоках в упругой и пластической зонах.

Эпюры нормальных напряжений, возникающих в проволоках ГПП в результате упругопластических деформаций, характеризуют наличие напряжений сжатия в поперечном сечении проволок.

Анализ результата расчетов деформаций изгиба грузонесущей ветви приспособления и эпюр нормальных и остаточных напряжений в ее проволоках без учета растяжения (при нагружении и разгрузке) показал следующее:

кривизна проволок стропа при пятикратном нагружении увеличивается, примерно, от 0,0025 до 0,0249 1/мм, в то же время значительно уменьшается радиус остаточной кривизны проволок (от 0,4 м до 0,041 м), благодаря чему увеличивается поверхность контакта проволок ГПП с крюком траверсы. Это способствует повышению предела текучести материала проволок, снижению контактных напряжений и росту надежности и долговечности «одноразового» грузозахватного устройства.

По результатам проведенных исследований предлагаются практические рекомендации по безопасной эксплуатации рассматриваемого ГПП:

1. До начала подъема груз должен быть надежно обвязан в пакет стальной лентой (не менее пяти перевязок, равномерно расположенных по длине пакета).

2. Для сохранения формы ветви ГПП и равномерного распределения нагрузки среди элементов необходимо скрепить проволоки ГПП не менее, чем в трех местах мягкой проволокой диаметром 1,5–2,0 мм (в каждом месте не менее четырех оборотов проволоки).

3. При изготовлении ГПП на вязальной машине после намотки расчетного числа витков произвести обрезку проволоки и закрутить ее концы вокруг пучка с количеством витков не менее 3 (рис. 1).

of the wire sling, and the polar moment of inertia of the cross section of the wire and the bending moment corresponding to the appearance of plastic deformations in the wire; residual stresses in wires in elastic and plastic zones.

Normal stresses shape in the HWD wires in the result of elastic-plastic deformations mean the presence of compressive stresses in the cross section of the wires.

The calculation result analysis of the bending strains of load-carrying leg of the device and the shape of normal and residual stresses in its wires without taking into account stretching (at loading and unloading) showed the following:

the curvature of sling wires at five-time loading increases from about 0.0025 to 1 0.0249/mm, at the same time, the curvature residual radius of wires reduces significantly (from 0.4 m to 0.041 m), thereby the contact surface of the HWD wires with the traverse hook increases. This contributes to the improvement of the wires material yield stress, reducing contact stresses and increasing the reliability and durability of "disposable" hoisting devices.

According to the results of the conducted research, practical recommendations for the safe operation of the considered HWD are proposed:

1. Before lifting, a cargo must be securely tied in a package with steel tape (at least five times, evenly spaced along the length of the package).

2. To maintain the shape of the HWD leg and uniform load distribution among the elements it is necessary to seal the HWD wires in at least three places with a soft wire of 1.5–2.0 mm in diameter (each place at least four turns of the wire).

3. In the HWD manufacture on the knitting machine after the winding of the calculated

4. При подъеме и транспортировании длинномерного груза не допускать разворота груза в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

5. Использовать конкретное ГПП разрешается только для одного пакета длинномерного груза.

6. Общее количество подъемов пакета груза не должно превышать 5, что необходимо отразить в технологической карте на указанные погрузочно-разгрузочные работы.

number of turns it is necessary to cut the wire and twist the ends around the bundle with at least 3 turns (Fig. 1).

4. When lifting and transporting long goods it is necessary to prevent a reversal of the cargo in the vertical and horizontal planes.

5. The usage of one HWD is only permitted for a single package of long goods.

6. The total number of lifts of a unitized load must not exceed 5, which should be reflected in the sheet for these loading and unloading works.

Библиографический список

1. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» (с изменениями на 12 апреля 2016 года) [Электронный ресурс] : Приказ № 533 от 12.11. 2013 Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. — Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/ 499060049/

2. Хальфин, М. Н. Влияние высокотемпературных воздействий на риск эксплуатации подъемных канатов / М. Н. Хальфин, А. А. Короткий, // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2013. — № 1–2(70–71). — С. 112– 117.

3. Хальфин, М. Н. Несущая способность специальных грузозахватных приспособлений / М. Н. Хальфин и др. // Подъемно-транспортные и строительные системы: наука и инновации: межвузовский сборник научных трудов. — Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2016. — С. 205–209.

4. Хальфин, М. Н. Оценка несущей

References

1. Ob utverzhdenii Federal’nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti “Pravila bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob’ektov, na kotorykh ispol’zyyutsya pod’emnye sooruzheniya” (s izmeneniyami na 12 aprelya 2016 goda). Prikaz no. 533 ot 12.11.2013 Federal’noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru. Elektronny fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy informatsii. [On approval of Federal norms and rules in the field of industrial safety "Safety rules for hazardous production facilities where hoisting devices are used " (with amendments from April 12, 2016). Order no. 533 of 12.11.2013 Federal service for ecological, technological and nuclear supervision. Electronic fund of legal and regulatory information.] Available at: http://docs.cntd.ru/document/499060049/ (in Russian).

2. Khalfin, N.M., Korotkiy, A.A. Vliyanie vysokotemperaturnykh vozdeystviy na risk ekspluatatsii pod’emnykh kanatov. [The influence of high temperature effects on operation risk of the hoisting ropes.] Vestnik of DSTU, 2013, no. 1-2(70-71), pp. 112– 117 (in Russian).

3. Khalfin, N.M. et al. Nesushchaya sposobnost’ spetsial’nykh gruzozakhvatnykh prisposobleniy. [Load capacity of special hoisting devices.] Pod’emno-transportnye i stroitel’nye sistemy: nauka i innovatsii: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov. [Hoisting-and-transport and construction systems: science and innovation: interuni. coll. of sci. works.] Novocherkassk, YURGPU (NPI), 2016, pp. 205-209 (in Russian).

способности специального грузозахватного приспособления для перегрузки длинномерных грузов / М. Н. Хальфин, Б. Ф. Иванов, Е. В. Харьковский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2017. — № 6. — С. 109–115.

4. Khalfin, N.M., Ivanov, B.F., Kharkovsky, E.V. Otsenka nesushchey sposobnosti spetsial'nogo gruzozakhvatnogo prisposobleniya dlya peregruzki dlinnomernykh gruzov. [Estimation of load capacity of special hoisting devices for handling long loads.] Izvestia Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, 2017, no. 6, pp 109-115 (in Russian).

Поступила в редакцию 04.09.2017
Сдана в редакцию 05.09.2017
Запланирована в номер 29.09.2017

Received 04.09.2017
Submitted 05.09.2017
Scheduled in the issue 29.09.2017

Хальфин Марат Нурмухамедович,
профессор кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета, (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1,) доктор технических наук, профессор.
xalfinmn@mail.ru

Khalfin Marat Nurmuhamedovich,
Professor of Operation of transport systems and logistics Department, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation) Doctor of technical Science, Professor.
xalfinmn@mail.ru

Короткий Анатолий Аркадьевич,
заведующий кафедрой «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета, (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1), доктор технических наук, профессор.
korot@novoch.ru

Korotkiy Anatoly Arkadevich
Head, Operation of transport systems and logistics Department, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation), Doctor of technical Science, Professor.
korot@novoch.ru

Иванов Борис Федорович,
профессор кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета, Кандидат технических нау, профессор (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1)
ivanov@ikc-mysl.ru

Ivanov Boris Fedorovich,
Professor of Operation of transport systems and logistics Department, Don State Technical University, (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation) Cand.Sci., Professor.
ivanov@ikc-mysl.ru

Панфилова Эльвира Анатольевна,
доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1), кандидат философских наук.
korotkaya_elvira@mail.ru

Panfilova Elvira Anatolevna,
Associate Professor of Operation of transport systems and logistics Department, Don State Technical University, (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation), candidate of Philosophical Sciences.
korotkaya_elvira@mail.ru